

Docket No.: GR 00 P 1807

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : THIEMO LANG  
Filed : Concurrently herewith  
Title : DISPERSION COMPENSATOR AND METHOD  
OF COMPENSATING FOR DISPERSION



CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks,  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119,  
based upon the German Patent Application No. 100 20 951.3 filed April 28, 2000.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted  
herewith.

Respectfully submitted,

For Applicant

WERNER H. STEMER  
REG. NO. 34,956

Date: April 30, 2001

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/vs

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**



1c950 U.S. PTO  
09/845855  
04/30/01

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 100 20 951.3  
**Anmeldetag:** 28. April 2000  
**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE  
**Bezeichnung:** Dispersionskompensator und Verfahren  
zur Dispersionskompensation  
**IPC:** H 04 B 10/18

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 08. März 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Sieck

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## Beschreibung

## Dispersionskompensator und Verfahren zur Dispersionskompensation

5

Die Erfindung betrifft einen optischen Dispersionskompensator, vorzugsweise zur Verwendung vor einer optischen Übertragungsstrecke oder im Anschluß an eine optische Übertragungsstrecke, mit mindestens einem optischen Eingang, mindestens  
10 einem Frequenzdemultiplexer (FDM), welcher eingehende Signale mit einem Eingangsspektrum in zwei Frequenzbänder  $f_L$  und  $f_H$  zerlegt und zwei Übertragungsstrecken (Mach-Zehnder-Arme) unterschiedlicher optischer Länge, denen je ein Frequenzband ( $f_L$ ,  $f_H$ ) zugeführt wird, wobei der optisch längere Mach-Zehnder-Arm als Verzögerungsleitung dient, und anschließend min-  
15 destens eine Frequenzrekombinationseinheit, in der die beiden spektral zerlegten Signale rekombiniert und zu mindestens einem optischen Ausgang geführt werden.

20 Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Dispersionskompensation eines, über eine Glasfaser übertragenen optischen Signals mit einem Frequenzspektrum zusammengesetzt aus zwei Frequenzbändern  $f_H$ ,  $f_L$ , wobei die Frequenzbänder auf je einen Mach-Zehnder-Arm aufgespalten, unterschiedliche Laufzeitver-  
25 zögerungen erfahren und anschließend wieder zusammengeführt werden

Bei der Übertragung von optischen Signalen eines bestimmten Frequenzspektrums (einer bestimmten Bandbreite) über einen  
30 optischen Leiter großer Länge, zum Beispiel eine Glasfaser, kommt es aufgrund der frequenzabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes in den Glasfasern zu Dispersionerscheinungen, also einer Verzerrung der Eingangslichtimpulse/Eingangsbitfolge in Abhängigkeit von der Weglänge. Diese  
35 chromatische Dispersion der Glasfasern begrenzt die maximal überbrückbare Distanz bei den hochbitratigen Übertragungssystemen. So erlauben zum Beispiel die gängigen Singlemode-

Glasfasern mit einer Dispersion von 17 ps/nm\*km bei einer Wellenlänge 1550 nm eine überbrückbare Distanz von nur noch 80-100 km in 10 Gbit/s-Systemen ohne Dispersionskompensation. Jede weitere Verdoppelung der Übertragungsbandbreite verringert die maximal überbrückbare Distanz grob um den Faktor 4.  
5 Für längere Übertragungsstrecken muß dann die Dispersion der Glasfaser entsprechend kompensiert werden.

Die bisher bekannten Methoden zur Dispersionskompensation  
10 sind aufgrund ihrer Bedeutung für die hochbitratigen Übertragungssysteme sehr zahlreich. Sie lassen sich grob in elektronische und optische Kompensationstechniken einteilen.

Unter den elektronischen Kompensationsverfahren findet man  
15 zunächst die Prechirp-Techniken. Sie beruhen auf der Erzeugung eines negativen Frequenzchirps der Laserdiode und ermöglichen so eine entsprechende Vorkompensation. Des weiteren kann durch geeignete Modulationsverfahren wie Einseitenbandmodulation, Duobinärmodulation, etc. eine Verringerung der  
20 eingangsseitigen Bandbreite bei gleichbleibender Bitrate erzielt und somit die maximal überbrückbare Distanz vergrößert werden.

Die elektronischen Kompensationstechniken sind im allgemeinen  
25 recht umständlich und ihre Realisierung hängt von der zu übertragenden Bitrate ab. Ein weiteres Problem besteht darin, daß elektronische Kompensationstechniken nicht optisch transparent sind.

Bei den optischen Kompensationsverfahren wird versucht, die  
30 Dispersion der Übertragungsstrecke durch eine entsprechende entgegengesetzte Dispersion des optischen Kompensationselementes möglichst vollständig nachzubilden. Bei optimaler Nachbildung der Dispersion, einschließlich der Dispersions-  
35 therme höherer Ordnung, kann bei Vernachlässigung der nicht-

linearen Effekte potentiell eine vollständige Kompensation erzielt werden.

Zur optischen Dispersionskompensation wurden spezielle dis-  
persionskompensierende Fasern (Dispersion Compensating Fibers  
- DCF's) entwickelt, die in den optischen Übertragungssystemen nun weitgehend eingesetzt werden. Hier durchläuft eine  
Bitfolge entweder vor oder nach dem eigentlichen dispersiven  
Übertragungsstreckenabschnitt die entsprechend dimensionierte  
DCF. Mit den zur Zeit realisierten Dispersionswerten der  
DCF's braucht man zur Kompensation von 100 km Übertragungs-  
strecke über Standard-Singlemodefasern eine DCF-Länge von un-  
gefähr 15 km.

Diese DCF's sind zwar optisch transparent und erlauben eine  
Mehrkanalkompensation, sie leiden jedoch unter ihrer geringen  
Kompaktheit, haben eine nicht zu vernachlässigende Dämpfung  
und keine einstellbare Dispersion. Es muß daher für jede  
Übertragungsstrecke die Länge der DCF entsprechend neu ange-  
paßt werden, was zusätzlich logistische Probleme mit sich  
bringt.

Eine andere optische Kompensationstechnik beruht auf den „ge-  
chirpten“ Bragg Gratings (faseroptisch oder integriert op-  
tisch realisiert). Die „gechirpten“ Bragg Gratings sind zwar  
einiges kompakter als die DCF's, sie arbeiten jedoch in Re-  
flexion und müssen somit mit einem Zirkulator kombiniert wer-  
den. Die Dispersionsbandbreite eines Gratings ist außerdem  
begrenzt und jeder einzelne Wellenlängenkanal muß gesondert  
kompensiert werden. Des weiteren sind über einen weiten Dis-  
persionsbereich einstellbare Bragg Gratings nicht einfach zu  
realisieren, auch weil die Kompensationsbandbreite und der  
Reflexionskoeffizient von der eingestellten Dispersion abhän-  
gen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, Dispersionskompensati-  
onsschaltungen integriert optisch in planarer Technologie,

faseroptisch oder volumenoptisch mit Hilfe von interferometrischen Konfigurationen zu realisieren. Die interferometrischen Konfigurationen beruhen auf der Anwendung von asymmetrischen Mach-Zehnder Interferometern, Ringresonatoren oder  
5 den Fabry-Perot Resonatoren.

Bezüglich der oben beschriebenen Kompensationstechniken betreffend Mach-Zehnder wird auf die Schriften

- 10 - K. Takiguchi, K. Okamoto and K. Moriwaki, "Planar Lightwave Circuit Dispersion Equalizer", J. Lightwave Technol., vol. 14, pp. 2003-2011, 1996;
- K. Takiguchi, S. Kawanishi, H. Takara, A. Himeno. K. Hattori, "Dispersion Slope Equalizer for Dispersion Shifted Fiber Using a Lattice-Form Programmable Optical Filter on  
15 a Planar Lightwave Circuit", J. Lightwave Technol., vol. 16, pp. 1647-1656, 1998; und
- K. Jinguji, M. Kawachi, "Synthesis of Coherent Two-Port Lattice-Form Optical Delay-Line Circuit", J. Lightwave Technol., vol. 13, pp. 73-82, 1995;
- 20 betreffend Ringresonatoren und Fabry-Perot auf
- C.K. Madsen, G. Lenz, 'Optical All-Pass Filters for Phase Response Design with Applications for Dispersion Compensation', IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 10, pp. 994-996, 1998  
verwiesen und deren Offenbarungsgehalt vollinhaltlich über-  
25 nommen.

Das technische Problem der oben genannten interferometrischen Strukturen besteht darin, daß sie ohne Kaskadierung nur eine sehr begrenzte Dispersionskompensation bei gleichzeitig geforderter großer Dispersionsbandbreite ermöglichen. Die hierzu notwendige Kaskadierung führt wiederum unweigerlich zu einer zunehmend schwieriger zu realisierenden und komplexeren Struktur.

35 Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen Dispersionskompensator und ein Verfahren zur Dispersionskompensation zu finden, welches/welcher hohe Dispersionswerte bei gleichzeitig



hoher Bandbreite ohne Kaskadierung mehrerer Filterstufen kompensieren kann. Des weiteren soll die Erfindung es ermöglichen, einstellbare Dispersionswerte zu erzeugen.

- 5 Die Aufgabe wird durch die beiden unabhängigen Patentansprüche 1 und 2 gelöst.

Mit dieser Erfindung schlägt der Erfinder eine Struktur vor, welche eine hohe Dispersionskompensation bei beliebig großer  
10 Dispersionsbandbreite ohne Kaskadierung von mehreren Filterstufen ermöglicht. Sie beruht darauf, die beiden Teilsignale eines asymmetrischen Mach-Zehnders trotz bestehender Kohärenz ohne Interferenzbildung zusammenzuführen. Dies ist dann möglich, wenn die beiden Signale bei der Signalrekombination zu-  
15 einander orthogonal polarisiert sind.

Entsprechend diesem Erfindungsgedanken schlägt der Erfinder vor, einen optischen Dispersionskompensator, vorzugsweise zur Verwendung vor einer optischen Übertragungsstrecke oder im  
20 Anschluß an eine optische Übertragungsstrecke, mit mindestens einem optischen Eingang, mindestens einem Frequenzdemultiplexer (FDM), welcher eingehende Signale mit einem Eingangsspektrum in zwei Frequenzbänder  $f_L$  und  $f_H$  zerlegt und zwei Übertragungsstrecken (Mach-Zehnder-Arme) unterschiedlicher optischer Länge, denen je ein Frequenzband ( $f_L$ ,  $f_H$ ) zugeführt  
25 wird, wobei der optisch längere Mach-Zehnder-Arm als Verzögerungsleitung dient, und anschließend mindestens eine Frequenzrekombinationseinheit, in der die beiden spektral zerlegten Signale rekombiniert und zu mindestens einem optischen  
30 Ausgang geführt werden, dahingehend zu verbessern, daß in mindestens einem Mach-Zehnder-Arm ein Polarisationskonverter vorgesehen ist. Aus bautechnischen Erwägungen handelt es sich hierbei vorzugsweise um den Mach-Zehnder-Arm mit der kürzeren optischen Länge.

Erfindungsgemäß kann dieser Dispersionskompensator sowohl vor als auch nach einer optischen Datenübertragungsstrecke angebracht werden.

- 5 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Dispersionskompensators sieht vor, daß der Multiplexer in Form eines TE/TM-Polarisationskombiner realisiert wird. Dies ist dann möglich, wenn die beiden orthogonal zugeführten Rekombinationssignale gemäß den jeweiligen Hauptachsen (TE und TM) polarisiert sind. In  
10 diesem Fall findet die Zusammenführung der beiden Signale theoretisch ohne 3dB Leistungsverlust (3dB Power Penalty) statt. Alternativ kann auch ein 3dB-Koppler verwendet werden, der dann allerdings den genannten Leistungsverlust bedingt.
- 15 Zusätzlich kann der Dispersionskompensator so ausgestaltet werden, daß mindestens ein Mach-Zehnder-Arm, vorzugsweise der Arm mit der längeren optischen Länge und/oder ohne Polarisationskonverter, in mindestens zwei Teilstrecken (im allgemeinen Fall in N-Teilstrecken) aufgespalten ist, wobei ein an-  
20 steuerbarer 1xN-Schalter, ein ansteuerbarer Nx1-Schalter und N-Teilstrecken zwischen den Schaltern vorgesehen sind. Hierdurch wird erreicht, daß die Verzögerungszeit des Teilfrequenzbandes und damit die erzielbare Dispersion einstellbar wird.
- 25 In dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Dispersionskompensators kann, ohne andere Varianten auszuschließen, der 1xN-Schalter und Nx1-Schalter zum Beispiel thermo-optisch oder elektro-optisch betrieben werden.
- 30 Falls am Eingang des Kompensators kein linear polarisierter Polarisationszustand vorliegt oder ein linear polarisierter Eingangszustand vorliegt, der nicht mit den Hauptachsrichtungen der Wellenleiter des Kompensators übereinstimmt, und  
35 gleichzeitig die Wellenleiter des Kompensators anisotrop ausgebildet sind, sind die beiden Signale mit den unterschiedli-

chen Frequenzbändern bei ihrer Zusammenführung nicht mehr orthogonal polarisiert.

Um in diesem Fall die Orthogonalität wiederzugewinnen wird  
5 weiterhin in einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung vorgeschlagen, daß in mindestens einer Übertragungsstrecke des Mach-Zehnders ein schnell regelbarer TE/TM-Phasenschieber, vorzugsweise hinter dem Polarisationskonverter, angeordnet wird. Hierdurch kann durch geeignete Ansteuerung des  
10 TE/TM-Phasenschiebers im Falle anisotoper Wellenleiter die Orthogonalität der Rekombinationssignale bei ihrer Zusammenführung sicher gestellt werden.

Soll der Dispersionskompensator nach einer optischen Signalstrecke eingesetzt werden, so kann es sinnvoll oder sogar erforderlichlich sein, den in den Dispersionskompensator eingehenden Polarisationszustand zu linearisieren. Dies kann durch Einsatz eines Polarisationsstellers vor dem Dispersionskompensator geschehen. Dieser Polarisationssteller kann hierbei  
20 durch einen eingangsseitigen TE/TM-Teiler und eine ausgangsseitige Frequenzrekombinationseinheit (Multiplexer) realisiert werden, wobei einer der beiden Mach-Zehnder-Arme mit einem Polarisationskonverter und einer der beiden Mach-Zehnder mit einem schnell regelbaren Phasenschieber ausgestattet ist.  
25

In einer anderen Ausführungsform der Signalstrecke wird der Polarisationssteller mit einem eingangsseitigen bipolaren Polarisationskonverter und Moden-Sortierer und einer ausgangsseitiger Frequenzrekombinationseinheit (Multiplexer) realisiert, wobei auch hier einer der beiden Mach-Zehnder Arme einen schnell regelbaren Phasenschieber benötigt.  
30

Bei Anbringen des Dispersionskompensationselementes nach der  
35 Übertragungsstrecke besteht weiterhin die Möglichkeit, vor dem Kompensator einen schnellen Polarisations-scrambler und anschließend einen TE-Moden- oder TM-Moden-Polarisator anzu-

bringen. Dies ermöglicht ebenfalls einen homogenen linearen Eingangspolarisationszustand in den Kompensator, eine zusätzliche 3dB Power Penalty muß hierbei in Kauf genommen werden.

5 Weiterhin schlägt der Erfinder entsprechend seinem Erfindungsgedanken auch ein Verfahren zur Dispersionskompensation eines, über eine Glasfaser übertragenen optischen Signals mit einem Frequenzspektrum, zusammengesetzt aus zwei Frequenzbändern  $f_H$ ,  $f_L$ , wobei die Frequenzbänder auf je einen Mach-Zehnder-Arm aufgespalten, unterschiedliche Laufzeitverzögerungen  
10 erfahren und anschließend wieder zusammengeführt werden vor, welches sich dadurch auszeichnet, daß die beiden Frequenzbänder bei der Zusammenführung orthogonal zueinander polarisiert sind.

15 Weiterhin ist darauf hinzuweisen, daß der Kompensator faseroptisch, volumenoptisch und/oder integriert optisch realisiert werden kann. Hierbei ist selbstverständlich darauf zu achten, daß die verwendeten Bauelemente keine zusätzlichen  
20 Verdrehungen der Polarisationszustände erzeugen.

Weitere Merkmale und besondere Ausführungsbeispiele der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme  
25 auf die Zeichnungen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen näher beschrieben:

30 Figur 1: Elementare Funktionen eines (integriert optischen, faseroptischen oder volumenoptischen) Dispersionskompensators, basierend auf einem Frequenzdemultiplexer, einem asymmetrischen Mach-Zehnder und einer Frequenzrekombinationseinheit  
35 (=Multiplexer) (Stand der Technik);

Figur 2: Dispersionskompensation durch Kaskadierung asymmetrischer Mach-Zehnder Interferometer (Stand der Technik);

5      Figur 3: Dispersionskompensation in Analogie zu Figur 1, jedoch zusätzlich mit Einbau eines Polarisationskonverters in einem der beiden Interferometerarme;

10      Figur 4: Dispersionskompensation wie in Figur 3, jedoch mit einstellbarer Verzögerungsleitung für das  $f_H$ -Spektralband;

15      Figur 5: Dispersionskompensation wie in Figur 4, jedoch erweitert durch einen TE/TM-Phasenschieber zur Kompensation doppelbrechender Wellenleiter bei beliebigem homogenen elliptischen Eingangspolarisationszustand;

Figur 6a: Dispersionskompensation wie in Figur 4, jedoch mit vorgeschaltetem Polarisationssteller;

20      Figur 6b: Weitere Version der Dispersionskompensation wie in Figur 4 mit vorgeschaltetem Polarisationssteller;

Figur 7: Dispersionskompensation wie in Figur 4, jedoch erweitert durch einen vorgeschalteten Polarisations-scrambler mit anschließendem TE-Polarisator.

25      Die Figur 1 zeigt schematisch eine bekannte Anordnung zur Dispersionskompensation mit Hilfe eines asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometers mit einem Eingang 15 und zwei Ausgängen (Output1 und Output2) bei 16. Die zur Dispersionskompensation notwendigen elementaren Funktionen wie die spektrale Zerlegung des Signals mit Hilfe eines Frequenzdemultiplexers (= FDM = Frequency division multiplexer) 1, die spektralabhängige Zeitverzögerung  $\Delta L(\Delta \tau)$  und die Signalrekombination im Multiplexer 3 sind bei einer integrierten Realisierung auf einem gemeinsamen Ausgangssubstrat realisiert.

30

35

In diesem Beispiel nach Figur 1 wird das eingangsseitige Frequenzspektrum  $f_L, f_H$  des Signals durch den FDM 1 in zwei Fre-

quenzbänder  $f_H$  ( $f_H$  = high frequencies = hohe Frequenzen) und  $f_L$  ( $f_L$  = low frequencies = niedrige Frequenzen) auf die beiden Mach-Zehnder-Arme 4.1 und 4.2 aufgeteilt. Wie die Figur 1 ebenfalls zeigt, ist zum exakten Phasenabgleich in einem der Interferometerarme zusätzlich ein einstellbarer Phasenschieber 2 zur Justierung des Phasenunterschiedes  $\Delta\phi$  notwendig, welcher etwa auf dem thermo-optischen oder elektro-optischen Effekt beruhen kann. Anschließend werden die getrennten Signale über einen Multiplexer 3 wieder zusammengeführt.

10

Diese Konfiguration stellt eine Filterstufe dar. Es darf sich die Phasenbeziehung der im Multiplexer 3 interferierenden Wellen in Abhängigkeit von der Frequenz nicht zu stark verändern, um die gewünschte Kompensationsbandbreite ohne große Intensitäts- und Zeitverzögerungsripple realisieren zu können. Diese Anforderung begrenzt jedoch die maximal erreichbare Verzögerungszeit  $\Delta\tau$  und damit die Dispersion pro Filterstufe.

20 Eine große Dispersionskompensation über eine große Bandbreite kann infolgedessen nur durch eine Kaskadierung von mehreren asymmetrischen Mach-Zehndern (Filterstufen) realisiert werden. Eine solche im Stand der Technik übliche Realisierung ist in der Figur 2 gezeigt. Hier sind die einzelnen asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometer durch directionale Koppler 5 miteinander verbunden und erfüllen gleichzeitig die Funktionen des Frequenzmultiplex, der frequenzabhängigen Verzögerung und des Frequenzdemultiplex.

30 Durch die Kaskadierung wird eine sukzessive kohärente Überlagerung der Wellenanteile der beiden Interferometerarme erzeugt. Je größer die erwünschte Dispersionskompensation bei gleichzeitig großer Bandbreite ist, desto mehr Kaskadierungsstufen sind erforderlich. Die Realisierung wird somit zunehmend schwieriger, zumal die optische Weglänge beziehungsweise die Phase eines jeden Interferometers beziehungsweise einer jeden Filterstufe dabei exakt kontrolliert werden muß. Dies

kann etwa durch einen thermo-optischen Phasenschieber geschehen. Konfigurationen mit quasi beliebig einstellbaren Kompensationswerten, eventuell durch einstellbare Koppler, sind denkbar, erhöhen jedoch nochmals die Komplexität.

5

Die Figur 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Aufbau eines optischen Dispersionskompensators in Analogie zu Figur 1, wobei jedoch zusätzlich ein Polarisationskonverter 6 im Mach-Zehnder-Arm 4.1 (Interferometerarme) eingesetzt ist. Ziel ist es, eine Signalrekombination zweier Frequenzbänder zu erreichen, ohne daß es aufgrund ihrer orthogonalen Polarisationszustände zu einer Interferenzbildung kommt. Durch entsprechende Dimensionierung von  $\Delta L$  (=Längenunterschied der Mach-Zehnder-Arme) können hierbei beliebig große Zeitverzögerungen  $\Delta t$  des Frequenzbandes  $f_H$  erzielt werden, und dies bei gleichzeitig beliebig großer Gesamtbandbreite des Signals  $f_L + f_H$ .

10

15

Die Anordnung besteht zunächst aus dem Frequenzdemultiplexer (FDM) 1, welcher das Eingangsspektrum in zwei Frequenzbänder  $f_L$  und  $f_H$  zerlegt. Idealerweise besitzt der FDM 1 einen rechteckigen Frequenzgang, d.h. mit möglichst steil abfallenden Flanken. Im nachfolgenden asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometer erfahren die zwei Frequenzbänder  $f_L$  und  $f_H$  eine unterschiedliche Laufzeitverzögerung. Bei isotropen und gleichzeitig polarisationserhaltenden Wellenleitern, wie es zum Beispiel mit einer integrierten optischen Realisierungsform grundsätzlich möglich ist, kann der Polarisationsgangszustand, wie in Fig.3 eingezeichnet, eine beliebige Ellipse besitzen. Die Polarisationszustände sind durch die Ausbildung der dargestellten Ellipsen angegeben. Der Polarisationskonverter wandelt dann das Signal des Mach-Zehnder-Armes 4.1 aus einem beliebig elliptisch polarisiertem Zustand in ein hierzu orthogonales elliptisch polarisiertes Signal um. Anschließend wird dieses Signal mit dem zeitverzögerten Signal aus dem Mach-Zehnder-Arm 4.2 im Multiplexer 3 zusammengeführt.

20

25

30

35

Dieser Multiplexer 3, in dem die beiden Frequenzbänder zusammengeführt und wieder überlagert werden, kann in einer einfachen Realisierung etwa aus einem breitbandigen 3dB-Koppler bestehen, wodurch ein zusätzlicher Leistungsverlust von etwa 3 dB zu verzeichnen ist. In diesem Fall kann ein Ausgang des Multiplexers 3 als Monitorausgang verwendet werden. Dieser kann dazu dienen, die Ausgangsleistung zu überwachen.

Besteht, wie in Figur 3 dargestellt, die Konfiguration aus isotropen Wellenleitern, so ist zu ihrer korrekten Funktionsweise ein beliebiger elliptischer Polarisationszustand des Eingangssignals zulässig, wobei die Ellipse über die gesamte Kanalbandbreite möglichst identisch sein sollte. Bei einem linearen und achsenidentischen Eingangspolarisationszustand kann der Multiplexer durch einen TE/TM-Polarisationskombiner realisiert werden, was eine Zusammenführung der Signale ohne 3dB Leistungsverlust möglich macht.

Die Dispersion der Übertragungsstrecke wird bei schwach- oder nichtdispersiven Wellenleitern durch die zweistufige Zeitverzögerung nur grob angenähert, was jedoch zu einer wesentlichen Verbesserung des Signals führen kann. Durch geeignete Dimensionierung der Verzögerungsleitung  $\Delta L$  kann eine beliebig große zweistufige Zeitverzögerung  $\Delta \tau$  ohne Kaskadierung erzielt werden, was insbesondere bei großen Kompensationswerten eine erhebliche Vereinfachung bedeutet. Des weiteren kommt die Anordnung ohne einen einstellbaren Phasenschieber aus. Damit benötigt die Konfiguration bei fest eingestelltem FDM, Polarisationskonverter und Multiplexer keine weitere Nachregelung.

Soll die Dispersion der Übertragungsstrecke ideal nachgebildet werden, so kann versucht werden, in den Mach-Zehnder-Armen eigens hierfür zu entwickelnde dispersive Wellenleiter einzusetzen.



Die Figur 4 zeigt eine Variante der in Figur 3 dargestellten Struktur mit einstellbarer Zeitverzögerung. Hierfür werden im Mach-Zehnder-Arm 4.2 zwei einstellbare Schalter 7 und 8 eingefügt, welche je nach Ansteuerung das  $f_H$ -Spektralband auf eine entsprechende Verzögerungsleitung unterschiedlicher Länge 4.2.1 .... 4.2.N legt. Die Schalter können beispielsweise thermo-optisch oder elektro-optisch angesteuert werden. Auch in dieser Anordnung ist ein eventueller Phasenschieber zum exakten Phasenabgleich nicht notwendig.

Die in Figur 4 gezeigte Konfiguration erfordert in Analogie zu Figur 3 zu ihrer korrekten Funktionsweise idealerweise entweder einen identischen, homogenen Eingangspolarisationszustand über die gesamte Kanalfrequenzbandbreite und gleichzeitig isotrope Wellenleiter, oder einen linearen TE- oder TM-Eingangspolarisationszustand bei beliebig anisotropen Wellenleitern. Die Konfigurationen nach den Figuren 3 und 4 empfehlen sich deshalb insbesondere gut zur Dispersionskompensation vor der Übertragungsstrecke, etwa direkt nach dem Sendelaser mit seinem definierten, linearen Polarisationszustand.

Kann die Anordnung nach Figur 4 nur mit anisotropen Wellenleitern realisiert werden, so ist bei einem beliebigen, homogenen elliptischen Eingangspolarisationszustand der Einsatz eines einstellbaren TE/TM-Phasenschiebers 9 in einem der beiden Mach-Zehnder-Arme zur korrekten Funktion des Dispersionskompensators notwendig. Dieser kann, wie Figur 5 zeigt, beispielsweise nach dem Polarisationskonverter 6 angeordnet sein und stellt die Orthogonalität der beiden Interferometersignale in den Mach-Zehnder-Armen 4.1 und 4.2 bei ihrer Zusammenführung sicher. Der TE/TM-Phasenschieber 9 muß hierbei die akkumulierte Anisotropiedifferenz der beiden Mach-Zehnder-Arme kompensieren.

Für den allgemeinen Fall anisotroper Wellenleiter des Dispersionskompensators kann der Eingangspolarisationszustand auch

durch einen zusätzlichen vorgeschalteten Polarisationssteller so gedreht werden, daß er linear polarisiert ist und gleichzeitig mit einer der Wellenleiterachsen des Dispersionskompensators übereinstimmt.

5

Eine solche Ausführung kann insbesondere bei Einsatz des erfindungsgemäßen Dispersionskompensators nach einer Übertragungsstrecke angezeigt sein. In Ergänzung zu den in der Literatur bekannten Ausführungen zeigen die Figuren 6a und 6b

10

zwei hierfür mögliche Konfigurationen.

Der Polarisationssteller 17 der Anordnungen nach den Figuren 6a, 6b regelt den Polarisationszustand so, daß er mit den Hauptachsen der Wellenleiter des nachfolgenden Dispersionskompensators 18 übereinstimmt (TE- oder TM-Polarisation). Die Hauptachsen der Wellenleiter des nachfolgenden Dispersionskompensators 18 dürfen somit eine beliebige Anisotropie aufweisen. Die Polarisationssteller 17 der Figuren 6a, 6b können gleichzeitig in beschränktem Maß zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion dienen.

15

20

Als weitere Variante für eine Anwendung der in den Figuren 3 und 4 gezeigten Konfigurationen nach der Übertragungsstrecke wäre der Einsatz eines vorgeschalteten schnellen Polarisations scramblers 13 mit nachfolgendem TE- oder TM-Polarisator 14 denkbar. Die Wellenleiter 4.1, 4.2 des Dispersionskompensators 18 dürfen in diesem Fall eine beliebige Anisotropie aufweisen, da der Eingangspolarisationszustand der Lichtwelle durch den vorgeschalteten Polarisator 14 in einer der Hauptachsrichtungen (TE oder TM-Polarisation) orientiert ist. Der Polarisations scrambler 13 wird entweder am Streckeneingang oder direkt vor dem Kompensationselement mit dem vorgeschalteten Polarisator eingesetzt. Der Polarisator sollte auf jeden Fall direkt vor dem eigentlichen Kompensatorelement eingesetzt werden.

25

30

35

Als Beispiel zeigt Figur 7 eine Konfiguration mit einem direkt vor dem Dispersionskompensator 18 vorgeschalteten Polarisations-scrambler 13 und TE-Polarisator 14.

- 5 Bei dieser Konfiguration mit Polarisations-scrambler und anschließendem Polarisator muß ein zusätzlicher Leistungsverlust von 3 dB in Kauf genommen werden.

10 Sämtliche beschriebene Konfigurationen können, in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Übertragungsstrecke, für Ein- kanal- oder Mehrkanalkompensation verwendet werden. Die Realisierung der Konfigurationen kann entweder integriert optisch (auf einem gemeinsamen Substrat in integrierter oder hybrider Form), faseroptisch oder mit Hilfe von mikrooptischen (volumenoptischen) Bauteilen erfolgen.

20 Die Erfindung beschreibt also ein Verfahren zur Dispersionskompensation und einen Dispersionskompensator zur Durchführung des Verfahrens, wobei ein optisches Signal in zwei Frequenzbänder  $f_H$  und  $f_L$  und auf zwei Mach-Zehnder-Arme aufgespalten wird, dort unterschiedliche Laufzeitverzögerungen erfährt und die Frequenzbänder anschließend wieder zusammengeführt werden und dabei orthogonal zueinander polarisiert sind.

25 Insgesamt wird durch diese Erfindung ein Dispersionskompensator und ein Verfahren zur Dispersionskompensation zur Verfügung gestellt, welches/welcher hohe Dispersionswerte bei gleichzeitig hoher Bandbreite ohne Kaskadierung mehrerer Filterstufen kompensieren kann. Des weiteren ermöglicht es die 30 Erfindung, auch einstellbare Dispersionswerte zu erzeugen.

## Patentansprüche

1. Optischer Dispersionskompensator, vorzugsweise zur Verwendung vor einer optischen Übertragungsstrecke oder im Anschluß an eine optische Übertragungsstrecke, mit mindestens einem optischen Eingang (15), mindestens einem Frequenzdemultiplexer (FDM) (1), welcher eingehende Signale mit einem Eingangsspektrum in zwei Frequenzbänder  $f_L$  und  $f_H$  zerlegt und zwei Übertragungsstrecken (Mach-Zehnder-Arme) (4.1, 4.2) unterschiedlicher optischer Länge, denen je ein Frequenzband ( $f_L$ ,  $f_H$ ) zugeführt wird, wobei der optisch längere Mach-Zehnder-Arm als Verzögerungsleitung (4.2) dient und anschließend mindestens eine Frequenzrekombinationseinheit (3), in der die beiden spektral zerlegten Signale rekombiniert und zu mindestens einem optischen Ausgang (16) geführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem Mach-Zehnder-Arm ein Polarisationskonverter (6) vorgesehen ist.
2. Dispersionskompensator gemäß den voranstehenden Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzrekombinationseinheit als TE/TM-Polarisationskombiner oder 3dB-Koppler ausgebildet ist.
3. Dispersionskompensator gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Mach-Zehnder-Arm (4.2) in mindestens zwei Teilstrecken (4.2.1 ... 4.2.N) aufgespalten ist, wobei ein ansteuerbarer  $1 \times N$ -Schalter (7), ein ansteuerbarer  $N \times 1$ -Schalter (8) und N-Teilstrecken (4.2.1 ... 4.2.N) zwischen den Schaltern vorgesehen sind.
4. Dispersionskompensator gemäß dem voranstehenden Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der  $1 \times N$ -Schalter (7) und der  $N \times 1$ -Schalter (8) eine thermo-optische oder elektro-optische Ansteuerung aufweisen.

5. Dispersionskompensator gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß in  
5 mindestens einem Mach-Zehnder-Arm (4.1) ein TE/TM-Phasenschieber (9), vorzugsweise hinter dem Polarisationskonverter (6), vorgesehen ist.
6. Optische Signalstrecke, dadurch gekennzeichnet, daß ein Dispersionskompensator (18) gemäß einem der vor-  
10 anstehenden Ansprüche 1 bis 4 vorgesehen ist und ein- gangsseitig des Dispersionskompensators (18) ein Polarisationssteller (17) vorgeschaltet ist.
7. Optische Signalstrecke gemäß dem voranstehenden Anspruch  
15 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Polarisations- steller (17) zwei Mach-Zehnder-Arme (19.1, 19.2) vorge- sehen sind, wobei in mindestens einem der Mach-Zehnder- Arme (19.1, 19.2) ein Phasenschieber (9) vorgesehen ist.
- 20 8. Optische Signalstrecke gemäß dem voranstehenden Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Mach- Zehnder-Arme (19.1, 19.2) des Polarisationsstellers (17) zwischen einem eingangsseitigen TE/TM-Teiler (11) und einer ausgangsseitiger Frequenzrekombinationseinheit  
25 (Multiplexer) (3) angeordnet sind.
9. Optische Signalstrecke gemäß dem voranstehenden Anspruch  
30 8, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer der Mach-Zehnder-Arme (19.1, 19.2) des Polarisations- stellers (17) mit einem Polarisationskonverter (6) aus- gestattet ist.
10. Optische Signalstrecke gemäß dem Anspruch 7, dadurch  
35 gekennzeichnet, daß die mindestens zwei Mach-Zehn- der-Arme (19.1, 19.2) des Polarisationsstellers (17) zwischen einem eingangsseitigen bipolaren Polarisations- konverter und Moden-Sortierer (12) und einer ausgangs-

seitiger Frequenzrekombinationseinheit (Multiplexer) (3) angeordnet sind.

- 5 11. Optische Signalstrecke, dadurch gekennzeichnet, daß ein Dispersionkompensator (18) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 vorgesehen ist, welchem eingangsseitig ein Polarisations-scrambler (13) und ein TE- oder TM-Moden-Polarisator (14) vorgesehen ist.
- 10 12. Verfahren zur Dispersionskompensation eines, über eine Glasfaser übertragenen optischen Signals mit einem Frequenzspektrum zusammengesetzt aus zwei Frequenzbändern  $f_H$  und  $f_L$ , wobei die Frequenzbänder auf je einen Mach-Zehnder-Arm (4.1, 4.2) aufgespalten, unterschiedliche  
15 Laufzeitverzögerungen erfahren und anschließend wieder zusammengeführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Frequenzbänder bei der Zusammenführung orthogonal zueinander polarisiert sind.

Zusammenfassung

Dispersionskompensator und Verfahren zur Dispersionskompensation

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dispersionskompensation und einen Dispersionskompensator zur Durchführung des Verfahrens, wobei ein optisches Signal in zwei Frequenzbänder  $f_H$  und  $f_L$  und auf zwei Mach-Zehnder-Arme aufgespalten wird, dort unterschiedliche Laufzeitverzögerungen erfährt und die Frequenzbänder anschließend wieder zusammengeführt werden und dabei orthogonal zueinander polarisiert sind.

10

Fig. 4

Fig. 1

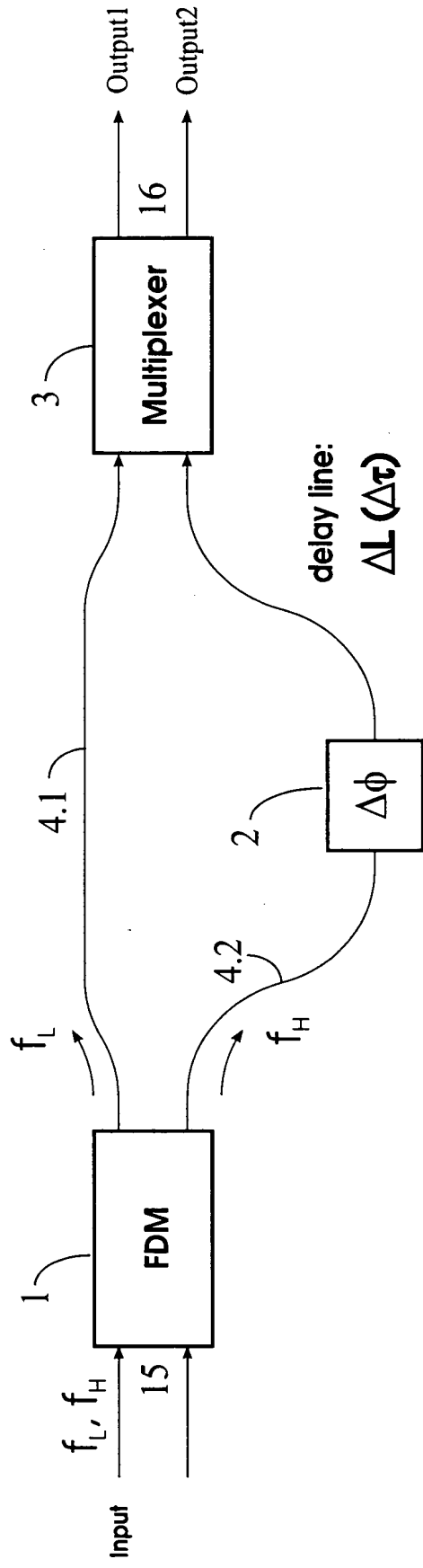


Fig. 2

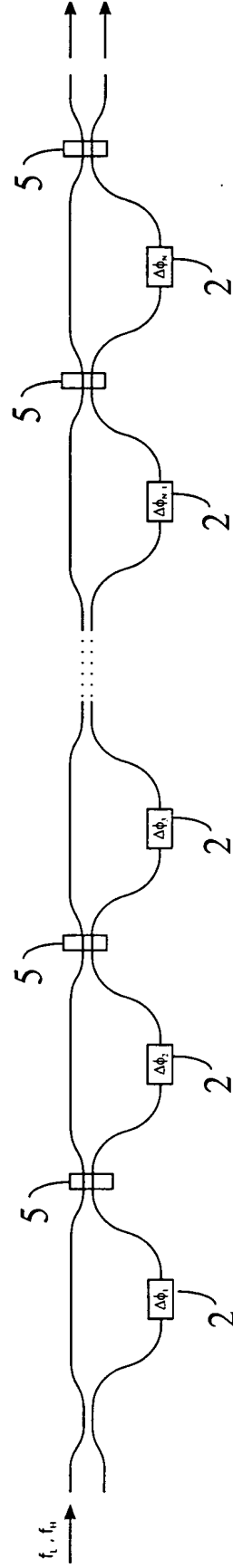




Fig. 3

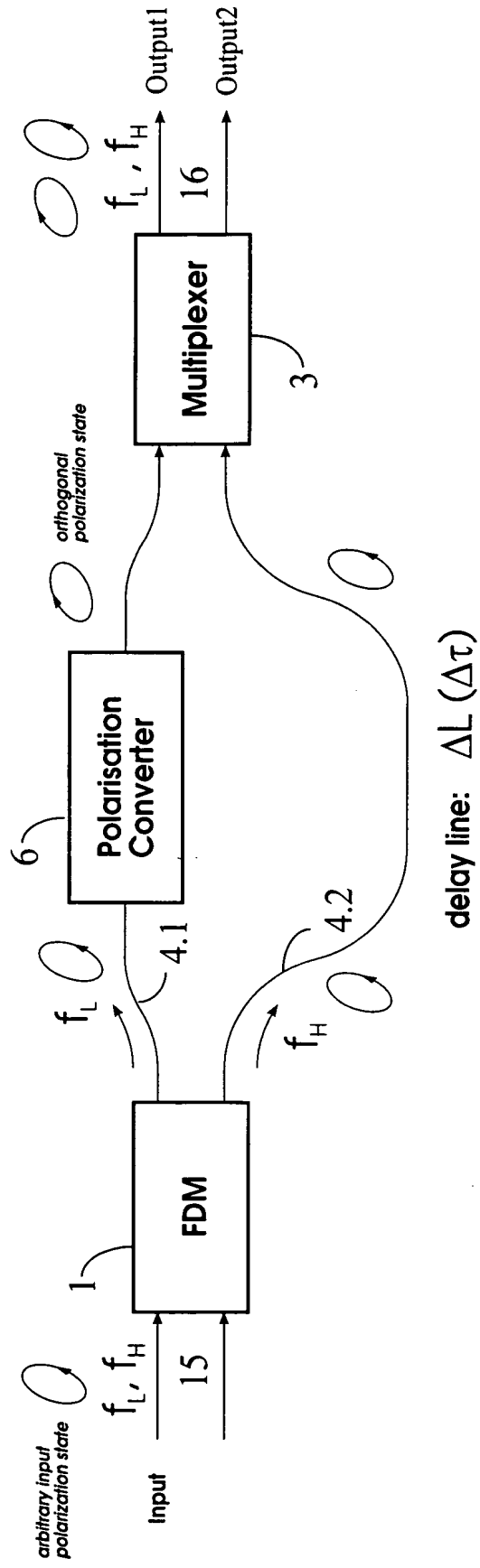


Fig. 4

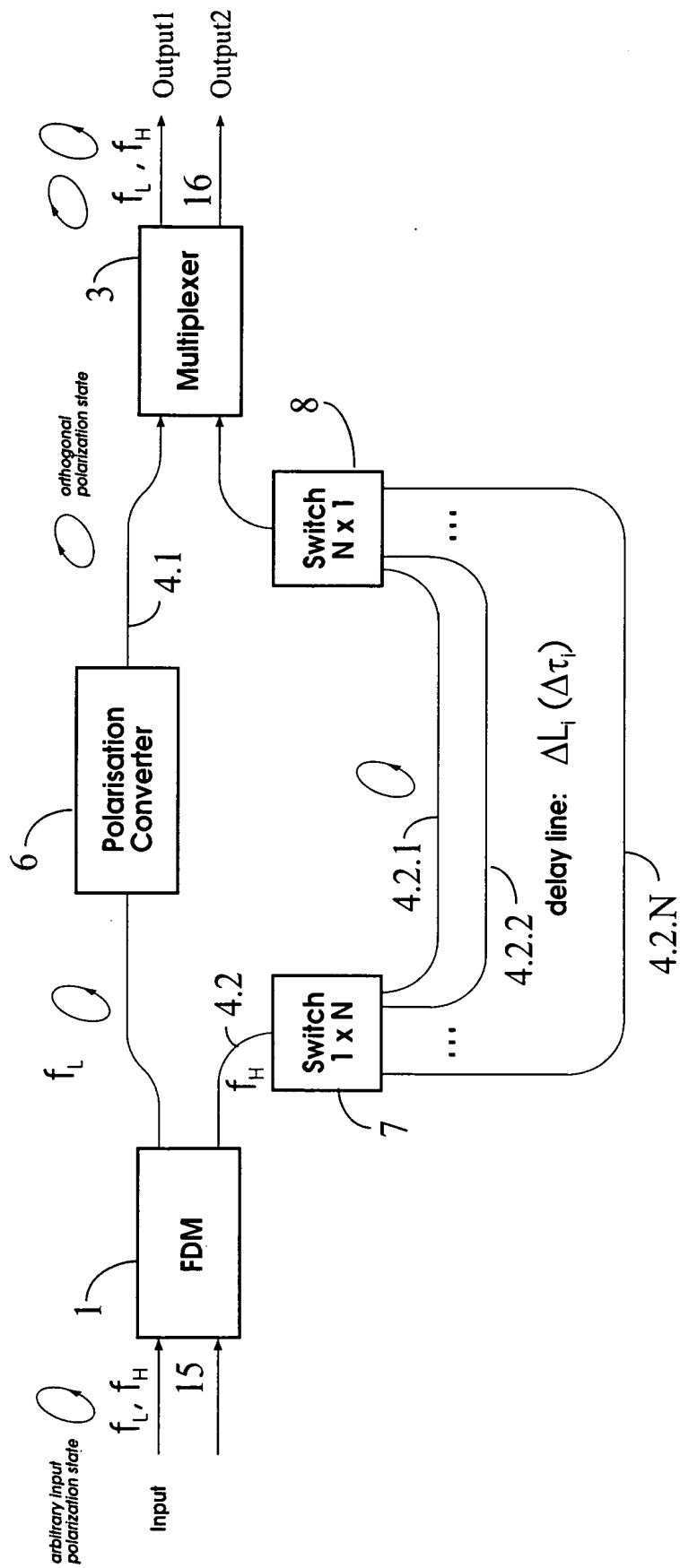


Fig. 5

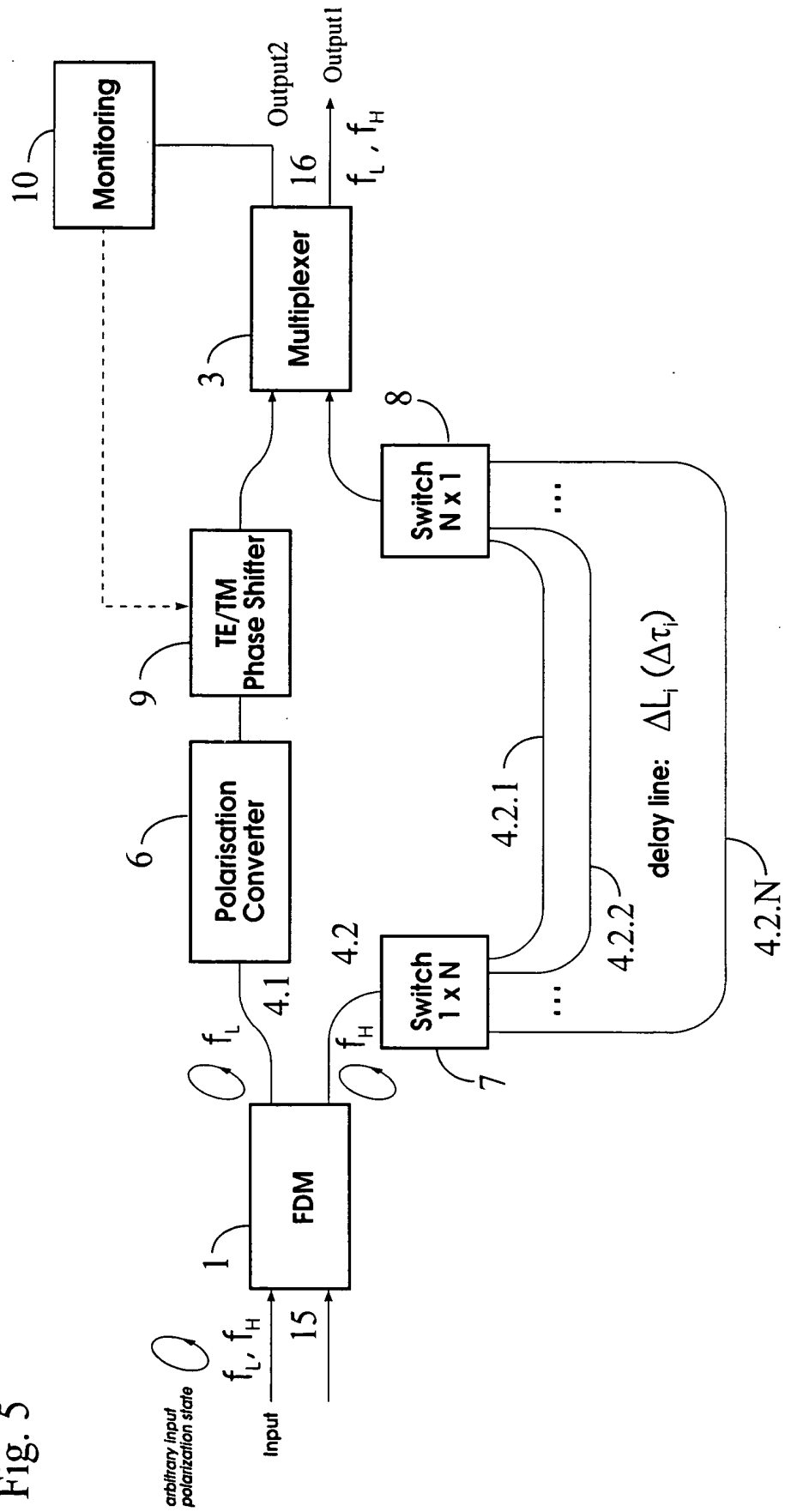
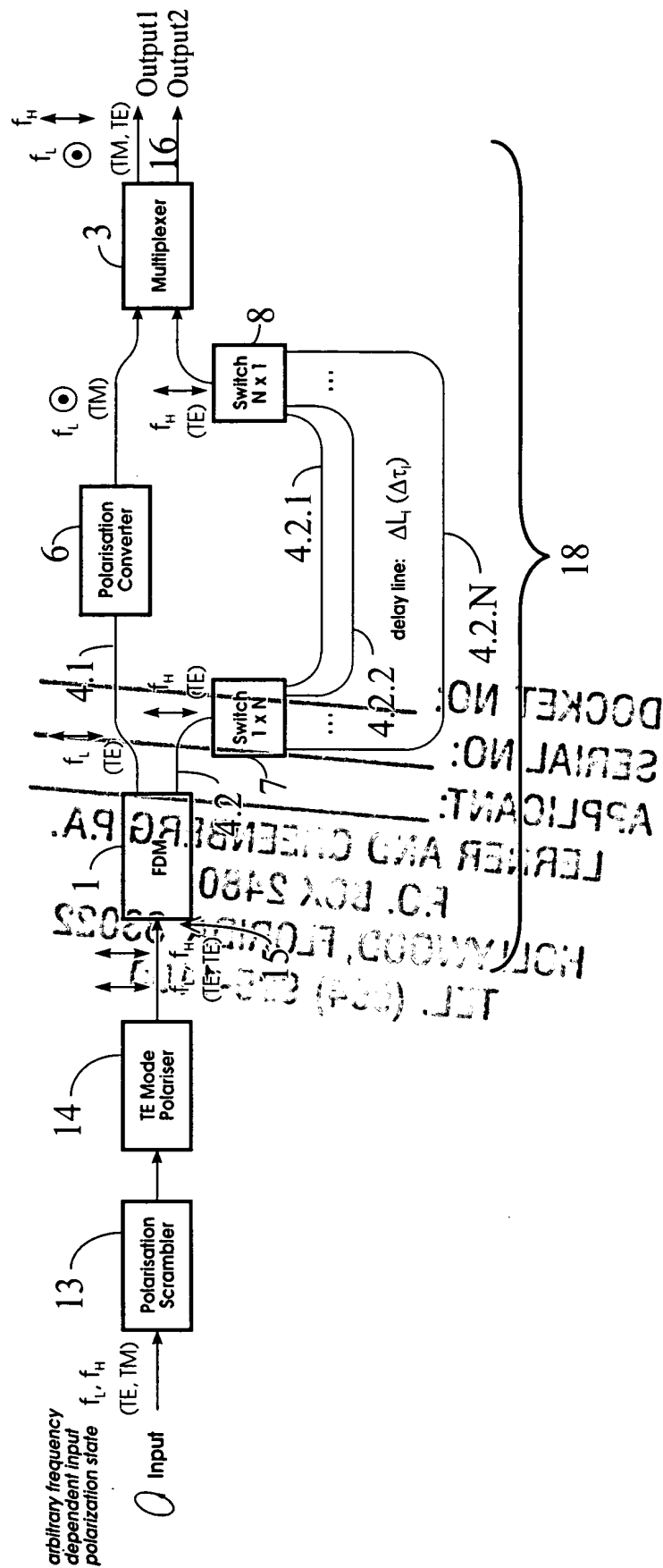




Fig. 7



DOCKET NO: GR OOP 1807

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: Thierno Lang

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100